

## РАЗРАБОТКА ДИЕТИЧЕСКИХ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ СО ЛЬНОМ

С. А. Урубков, А. А. Королёв, И. С. Коптяева, Л. Я. Корнева

*В данной статье представлены некоторые итоги исследований, посвященных разработке пищевых концентратов типа «сухие завтраки», получаемых на основе процесса экструзии поликомпонентных зерновых смесей с добавлением льна. Определены зависимости соотношений компонентов экструдированной смеси, а также их структурно-механических свойств на органолептические и физические характеристики готового продукта и технологические параметры процесса экструдирования. Выбрано процентное соотношение компонентов экструдированной смеси: мука пшеничная – 30 %, мука ржаная – 50 %, лен измельченный – не более 10 %, мука кукурузная – 9,8 %, фруктоза и соль не более 0,2 %, при котором наряду с качественными характеристиками конечного продукта обеспечиваются рациональные экономические показатели процесса. Технологические режимы экструзии определяются в зависимости от изменения удельных энергозатрат процесса и частоты вращения шнеков экструдера и массы модельной смеси в канале экструдера. Выявлены зависимости производительности и энергозатрат процесса экструзии от параметров смеси компонентов. Разработаны рецептуры и технологическая схема производства.*

*Ключевые слова: лён, пищевые концентраты, поликомпонентные зерновые смеси, сухие завтраки, экструзия*

В пищевом концентратной отрасли пищевой промышленности широко используется процесс термопластической экструзии различных биополимеров. Данный процесс даёт возможность перерабатывать различные виды и смеси сырья и получать таким образом уникальную по своим питательным свойствам продукцию. Производство широкого спектра продуктов главным образом основано на мощной промышленной базе производителей экструдеров различной модификации и производительности, а также на жёстком контроле экструдированного сырья, качества получаемой продукции и технологических параметров процесса. В результате экструзионной переработки зернового сырья получают различные виды продукции, такие как: готовые завтраки, закуски, макароны, каши быстрого приготовления, различные текстурированные продукты и т. д.

Использование семян льна в производстве пищевых концентратов на зерновой основе является актуальной задачей. Вместе с тем достаточно сложно экструдировать сырьё с относительно высоким содержанием липидов и клетчатки в нативном виде. Однако опыт и проводимые исследования указывают на возможность получения качественного экструдата путем его комбинирования с высококрахмалистыми компонентами, например, с зерном пшеницы, кукурузы, ржи. При

этом установлено, что в полученных по такой технологии экструдатах сохраняются практически все полезные свойства. Применение льна в составе поликомпонентных смесей с применением технологий экструзионной обработки позволит создавать низкокалорийные продукты с низким содержанием сахара, высоким содержанием клетчатки, белков и сбалансированным составом [1, 2, 3].

Содержание белков в семенах льна колеблется от 16 до 33 %, что существенно выше по сравнению со злаковыми культурами, например, пшеница содержит 12–15 % белка. Кроме того, протеины льна отличаются высокой усвояемостью. Высокая биологическая ценность белка семян льна обусловлена благоприятным аминокислотным составом, уступающая лишь по уровню лизина. В семенах льна нет ингибиторов протеолитических ферментов, уреазы, липоксидазы, антикоагулянтов, что позволяет использовать белок семян льна для пищевых и лечебно-профилактических целей. В льняном семени можно отметить низкое содержание сахаров и крахмала – до 4 %. Углеводы льна состоят на 2/3 из нерастворимых пищевых волокон типа лигнина. Оставшаяся часть – растворимые волокна, которые образуют устойчивые коллоиды слизи (в среднем около 6 %). По химическому составу и физико-химическим свойствам слизи наиболее близки к пектинам [4, 5].

## РАЗРАБОТКА ДИЕТИЧЕСКИХ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ СО ЛЬНОМ

Информационный обзор зарубежной литературы и практики показывает высокий уровень потребления населением продуктов питания, содержащих семена льна, а также льняного масла. В Канаде существует национальная программа, которая рекомендует включать продукты переработки или цельное

зерно льна в хлебобулочные изделия в количестве до 12 %. Согласно данной программе компоненты, содержащиеся в семени льна ( $\omega$ -3, лигнаны и пищевые волокна), можно использовать в качестве лечебных добавок (рисунок 1) [6].



Рисунок 1 – Вещества семян льна функционального назначения [6]

На данном этапе исследований получение новых экструзионных продуктов с заданными физико-технологическими и потребительскими свойствами базировалось на основе эмпирического подбора параметров процесса и соотношения компонентов экструдированного сырья. В основу подбора данных параметров также был положен анализ

белков и полисахаридов – основных компонентов в составе экструдатов. В качестве компонентов для разрабатываемых пищевых концентратов выбраны: мука пшеничная высшего сорта, мука ржаная сеяная, овсяная и кукурузная крупы в измельченном виде, а также семена льна дроблёные и цельносомолотые (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание основных компонентов в зерновых культурах, % [7–9]

Наименование продукта	Вода	Белок	Жиры	Углеводы	Пищевые волокна	Зольность
Мука пшеничная высший сорт	14,0	10,3	1,1	70,6	3,5	0,5
Крупа овсяная (измельченная)	12,0	12,3	6,1	59,5	8,0	2,1
Мука гречневая диетическая	9,0	13,6	1,2	71,9	2,8	1,5
Мука ржаная сеяная	14,0	6,9	1,4	66,3	10,8	0,6
Лён (измельченный)	10,0	19,2	34,5	29,7	4,0	1,6
Крупа кукурузная (измельченная)	14,0	8,3	1,2	71,0	4,8	0,7

Исследования экструзионной обработки комбинированных смесей проводили на двухшнековом экструдере «MP 2030» (APV Backer, Великобритания) с установленной мощностью 98 кВт и производительностью 150–250 кг/ч, диаметр шнеков 50 мм, диаметр фильеры 3 мм.

В процессе экструзии осуществлялся контроль трёх параметров: влажности экструдированного сырья, температуры в различных зонах экструдера и скорости вращения шнеков экструдера.

Компоненты смешивались в различных комбинациях и пропорциях. Количество льна в составе смеси варьировали от 10 до 20 %. В качестве добавок для повышения вкусовых качеств экструдатов в рецептуры наряду с фруктозой (взамен сахарного песка) добавляли сухое молоко и соль. Процентное содержание этих продуктов ограничивалось технологичностью процесса и не превышало 0,2 %. Увеличение содержания сухого молока и фруктозы приводит к подгоранию смеси на выходе из экструдера, а повышенное содер-

жания соли – к снижению степени экспандирования.

Существенную роль в процессе термопластической экструзии играет вода. Добавление воды к сухому зерновому сырью приводит к снижению температуры перехода в вязко-текучее состояние ниже температуры разложения белка и крахмала, что и делает возможным проведение процесса термопластической экструзии. Количество воды в экструдированном сырье определяет температуру его перехода в вязко-текучее состояние, а также влияет на формирование структуры экструдата. Количество добавляемой воды подбиралось в соотношении примерно 0,1 г воды на 1 г сухого вещества. Эта зависимость взята из работ, посвященных исследованию индекса расширения экструдатов. Увеличение или уменьшение содержания воды в экструдированном сырье приводит к уменьшению индекса расширения получаемых экструдатов и, соответственно, изменению их структуры [10, 11]. В ходе эксперимента установлено, что при увеличении влажности экструдированной массы свыше 17 % нарушается грануляция жгута экструдата, а также снижается его пористость. Получен-

ный экструдированный продукт с влажностью 8–12 % досушивали при температуре 100 °С в шкафной сушилке до влажности 4 %.

Органолептические и физические характеристики готового продукта зависят от соотношения компонентов экструдированной смеси, а также от их структурно-механических свойств. При увеличении доли продуктов с более высоким содержанием крахмала (пшеница, кукуруза) увеличивалось экспандирование экструдата и, соответственно, его пористость. Введение в сырьевую систему таких компонентов, как рожь и лён, повлияло на изменение физико-химических и структурных свойств экструдата. Наблюдается увеличение удельного веса экструдата, уменьшение экспандирования и пористости и увеличение энергозатрат процесса (рисунок 2). Возможно, это объясняется ухудшением эластических свойств сырьевой массы при переходе в вязко-текучее состояние, а также снижением доли крахмала в сырьевой смеси при увеличении содержания пищевых волокон. Наилучшее экспандирование и наименьшая усадка экструдатов отмечены при введении в рецептуры от 8 до 15 % льна.



а) с содержанием ржи 60 %, пшеницы – 25 % и льна – 15 %; б) с содержанием пшеницы 50 %, кукурузы – 15 %, ржи – 35 %

Рисунок 2 – Полученные экструдированные продукты

## РАЗРАБОТКА ДИЕТИЧЕСКИХ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ СО ЛЬНОМ

Процесс экструзии проводился при температуре 120–190 °С. При такой температуре вода интенсивно преобразуется в пар и способствует получению экструдатов пористой микроструктуры. В условиях повышенной температуры имело место «взрывное» испарение воды, при котором нарушалось упругое восстановление экструдата и образовывался разрыв. Принятая нами температура воздействия на экструдруемый материал в предматричной зоне не превышала 150 °С.

В ходе эксперимента отмечалось повышение температуры в зоне плавления экструдруемого материала от 120 до 150 °С при увеличении скорости вращения шнеков от 200 до 250 об/мин. Вероятно, это объясняется тем, что вводимая таким образом дополнительная механическая энергия частично превращается в тепловую. Закономерно, что увеличение количества подаваемой массы в экструдер приводит к увеличению удельных энергозатрат процесса, наименьшие показатели достигаются при максимально возможной скорости вращения шнеков – 250 об/мин и содержании влаги в сырье до 17 %.

При экструдировании зерновой смеси с содержанием льна 10–20 % требуется увеличение мощности и, следовательно, повышенного потребления энергоресурсов, а при снижении уровня содержания льна в преде-

лах 8–12 % процесс проходит без заметного увеличения расхода электроэнергии. Наиболее стабильный процесс истечения материала из фильеры матрицы при оптимальной объемной массе экструдата происходит при диапазоне скорости вращения шнеков от 225 об/мин до 250 об/мин.

Таким образом, нами выбрано процентное соотношение компонентов, при котором наряду качественными характеристиками конечного продукта обеспечиваются рациональные экономические показатели: мука пшеничная – 30 %, мука ржаная – 50 %, льняная мука – не более 10 %, мука кукурузная – 9,8 %, фруктоза и соль не более 0,2 % (рисунок 3).

Пористая структура полученного экструдата в большинстве случаев характеризуются анизотропной макроструктурой, такой продукт, как правило, содержит до 80 % крахмала и 10–15 % белков [12].

На основании проведенных исследований процесса экструзионной обработки комбинированных смесей разработана технологическая схема производства. Схема включает в себя следующие этапы процесса: приемку сырья, дозирование, смешивание, экструдирование, внесение вкусовых компонентов, подсушку, фасовку и упаковку в потребительскую тару.



Рисунок 3 – Экструдат на основе пшеницы и ржи с добавлением льна

Таким образом, разработаны рецептуры диетических экструдированных концентратов типа «сухие завтраки» с содержанием льна.

Данные исследования, проводимые отделом оборудования пищевого концентратного производства ФГБНУ НИИПП и СПТ – филиал ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», выполнены за счёт субсидий на выполнение государственного задания в рамках программы Фундаментальных научных исследований государственной академии наук на 2013–2020 годы (тема № 0529-2016-0026). Научно-исследовательская работа посвящена разработке новых продуктов, получаемых на основе процесса экструзии поликомпонентных смесей с добавлением льна.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимняков, В. М. Рациональные технологические параметры при производстве поликомпонентного композита на основе семян льна / В. М. Зимняков, О. Н. Кухарев, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // *Нива Поволжья*. – 2017. – № 4 (45). – С. 157-163.
2. Королев, А. А. Технология новых видов сухих завтраков [Экструдированные пищевые концентраты на основе компонентов помолы зерна озимой ржи] / А. А. Королев, С. В. Зиновьева; Т. А. Васильева; Л. Я. Корнева; И. С. Коптяева // *Продукты длительного хранения: консервированные, упакованные в вакууме, быстрозамороженные, сушеные*. – 2009. – № 2. – С. 4-6.
3. Невская, Е. В. Основные аспекты и перспективы использования продуктов переработки крупяных культур при выработке хлебобулочных изделий специального и функционального назначения / Е. В. Невская, Л. А. Шлеленко, С. О. Смирнов, О. Е. Тюрина, С. А. Урубков // *Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции: сборник материалов научн. конф.* – Краснодар: Изд-во ГНУ ВНИИТТИ. – 2014. – С. 79-84.
4. Плешков, Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений. – М.: Агропромиздат, 2007. – 494 с.
5. Цыганова, Т. Б. Пищевая ценность семян льна и перспективные направления их переработки. / Цыганова Т. Б. Миневич И. Э., Зубцов В. А., Осипова Л. Л. – Калуга: Изд-во «Эйдос». – 2010. – 124 с.
6. Мачихина, Л. И. Создание технологии производства новых продуктов питания из семян льна / Л. И. Мачихина, Е. П. Мелешкина, Л. Г. Приезжева, С. О. Смирнов, А. А. Жученко, Т. А. Рожмина // *Научно-инновационные аспекты хранения и переработки зерна к 85-летию ГНУ ВНИИЗ Россельхозакадемии* / Под редакцией Мелешкиной Е. П. – Москва, 2014. – С. 114-124.
7. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания / Скурихин И. М., Тутельян В. А. – Москва, 2007.
8. Химический состав пищевых продуктов. Кн.2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / под ред. проф., д.т.н. И. М. Скурихина и проф., д.м.н. М. Н. Волгарева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 360 с.
9. United States Department of Agriculture National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list?home=true>
10. Faubion, G. M., Hosney, R. C. High-temperature short time extrusion cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. – *Cereal Chemistry*, 1982, v.59, N6. – pp. 529-537
11. Богатырев, А. Н. Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование / А. Н. Богатырев, В. П. Юрьева. – М.: «Ступень», 1994. – 200 с.
12. Засыпкин, Д. В. Структурообразование при течении расплавов биополимеров и их смесей. Структура и свойства получаемых композиционных материалов. Дисс. канд. хим. наук. Москва, Институт элементарной органической соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, 1993. – 175 с.

**Урубков Сергей Александрович**, к.т.н., старший научный сотрудник отдела пищевых концентратов и оборудования «Научно-исследовательский институт пищевого концентратной промышленности и специальной пищевой технологии» НИИППиСПТ – филиал ФГБНУ «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», тел.: (495) 383-58-74, e-mail: [glen.vniiz@gmail.com](mailto:glen.vniiz@gmail.com).

**Королев Алексей Александрович** к.т.н., заведующий отделом пищевых концентратов и оборудования «Научно-исследовательский институт пищевого концентратной промышленности и специальной пищевой технологии» НИИППиСПТ - филиал ФГБНУ «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», тел.: (495) 383-58-74, e-mail [korleh@mail.ru](mailto:korleh@mail.ru).

**Корнева Людмила Яковлевна**, ведущий инженер отдела пищевых концентратов и оборудования «Научно-исследовательский институт пищевого концентратной промышленности и специальной пищевой технологии» НИИППиСПТ – филиал ФГБНУ «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи».

**Коптяева Ирена Сергеевна**, ведущий инженер отдела пищевых концентратов и оборудования «Научно-исследовательский институт пищевого концентратной промышленности и специальной пищевой технологии» НИИППиСПТ – филиал ФГБНУ «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи».